



**HAL**  
open science

## LPQM - Laboratoire de photonique quantique et moléculaire

Rapport Hcéres

► **To cite this version:**

Rapport d'évaluation d'une entité de recherche. LPQM - Laboratoire de photonique quantique et moléculaire. 2009, ENS Cachan. hceres-02032978

**HAL Id: hceres-02032978**

**<https://hal-hceres.archives-ouvertes.fr/hceres-02032978v1>**

Submitted on 20 Feb 2019

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



agence d'évaluation de la recherche  
et de l'enseignement supérieur

Section des Unités de recherche

## Rapport d'évaluation

Unité de recherche :

Laboratoire de Photonique Quantique et  
Moléculaire (LPQM) – UMR 8537

de l'École Normale Supérieure de  
Cachan



Mars 2009



agence d'évaluation de la recherche  
et de l'enseignement supérieur

Section des Unités de recherche

## Rapport d'évaluation

Unité de recherche :

Laboratoire de Photonique Quantique et  
Moléculaire (LPQM) – UMR 8537

de l'Ecole Normale Supérieure  
de Cachan



Le Président  
de l'AERES

Jean-François Dhainaut

Section des unités  
de recherche

Le Directeur

Pierre Glorieux

mars 2009



# Rapport d'évaluation



## L'Unité de recherche :

Nom de l'unité : Laboratoire de Photonique Quantique et Moléculaire

Label demandé : UMR

N° si renouvellement : 8537

Nom du directeur : Mme Isabelle LEDOUX-RAK

## Université ou école principale :

Ecole Normale Supérieure de Cachan

## Autres établissements et organismes de rattachement :

CNRS

## Date(s) de la visite :

10 février 2009

# Membres du comité d'évaluation



## Président :

M. Elyahou KAPON, EPFL, Lausanne, Suisse

## Experts :

M. Benoît BOULANGER, Institut Néel, Grenoble

M. Jacques ROBERT, Laboratoire Aimé Cotton, Orsay

Expert(s) représentant des comités d'évaluation des personnels (CNU, CoNRS, CSS INSERM, représentant INRA, INRIA, IRD...) :

M. Jean-Yves CAVAILLE , CNU

Mme Elisabeth DUFOUR-GERGAM, CoNRS

# Observateurs



Délégué scientifique de l'AERES :

M. Jean-Michel ROBBE

Représentant de l'université ou école, établissement principal :

M. Jean-Yves MERINDOL, administrateur provisoire de l'ENS Cachan

Représentant(s) des organismes tutelles de l'unité :

M. Sylvain ALLANO, DSA Institut ST2I section 08

Mme Pascale ROUBIN, chargée de mission Institut de Physique section 04

## 1 • Présentation succincte de l'unité

- Effectif : 8 enseignants-chercheurs, 2 chercheurs, 1 ingénieur, 13 doctorants, 1 contractuel SASU (secrétaire)
- Nombre de HDR (5), nombre de HDR encadrant des thèses (5)
- Nombre de thèses soutenues (11) et durée moyenne lors des 4 dernières années (38 mois), nombre de thèses en cours (13), nombre de thésards financés (13)
- Nombre de membres bénéficiant d'une PEDR (4)
- Nombre de publiants (10)

## 2 • Déroulement de l'évaluation

L'évaluation du laboratoire LPQM a eu lieu le 10 Février 2009 à l'Ecole Normale Supérieure de Cachan. Elle a consisté en une présentation du laboratoire par sa directrice Isabelle LEDOUX-RAK, de l'Institut d'Alembert, institut support du laboratoire par son Directeur Joseph ZYSS, et une série d'exposés scientifiques et de rencontres avec les responsables d'équipes et les doctorants. Les représentants des tutelles (ENS et CNRS) ont fait part de leur vision de l'avenir du laboratoire dans le contexte très mouvant de la réorganisation de la recherche dans le sud de la région parisienne. Une visite des installations communes et des expériences a été organisée, avant la délibération finale du comité.

## 3 • Analyse globale de l'unité, de son évolution et de son positionnement local, régional et européen

La visite a révélé un laboratoire très dynamique, constitué majoritairement de jeunes chercheurs, conduisant des projets de recherche significatifs, à la frontière de la photonique moléculaire et quantique. Ceci est attesté par la très haute qualité des productions scientifiques (publications, présentations dans des conférences internationales) et des projets en relation avec les ressources disponibles. La qualité du management des projets, leur excellent niveau et leur visibilité au niveau international et la qualité de l'environnement scientifique du laboratoire sont des gages de sa réussite.

## 4 • Analyse équipe par équipe et par projet

### Composants et technologies pour la photonique

Les thématiques de l'équipe « Composants et technologies pour la photonique » rejoignent les activités générales du LPQM en affichant des études qui vont du fondamental à l'applicatif. Ces études concernent essentiellement le développement de composants télécoms pour l'optique très haut débit et le multiplexage en longueur d'onde. Toutes concernent le développement de la filière de composants à base de polymères. Dans le cas des polymères électro-optiques, le matériau actif n'est pas commercialement disponible et les films sont obtenus dans le cadre de collaboration avec d'autres laboratoires.



Les modulateurs classiques ont donné de très bons résultats. Les performances ont toutefois été limitées par le packaging du dispositif et ce dernier point devrait être bientôt résolu en faisant évoluer le dispositif. Les modulateurs à structures résonantes en utilisant des structures de type micro-disques ou micro-anneaux sont des composants extrêmement prometteurs comme le montre le résultat récemment obtenu constituant un record de fréquence de modulation. Des résultats intéressants ont également été obtenus sur le développement de composants à base de polymères pour la radio sur fibre. Dans le cas des amplificateurs optiques, les résultats sont bons mais le matériau est instable dans le temps ce qui semble incompatible avec des applications industrielles.

Les microcavités laser deviennent maintenant un axe de recherche important au sein de l'équipe notamment avec un recrutement très récent d'une chercheuse particulièrement dynamique ce qui porte maintenant à 4 le nombre d'enseignants-chercheurs et ingénieur de recherche permanents au sein de l'équipe (dont la directrice du LPQM et le directeur de l'Institut d'Alembert pour 50% de son activité de recherche). Elles permettent de réaliser des études très fondamentales liées au chaos ondulatoire. Ces études théoriques de très grande qualité reposent pourtant sur une filière technologique étonnamment simple. Les travaux s'orientent à présent vers la mise en environnement microfluidique des microlasers afin d'utiliser les cavités en tant que capteurs ce qui paraît tout à fait intéressant.

Une ouverture vers d'autres types de technologies comme celles de la nanoimpression a été initiée dans le cadre d'une collaboration avec le LPN.

L'ensemble de ces travaux ont donné lieu à une vingtaine d'articles dans des revues internationales à comité de lecture des plus renommées et la participation à de très nombreuses conférences internationales notamment en tant que chercheurs invités ce qui est tout particulièrement remarquable.

Ces excellents résultats ont pu être obtenus grâce aux compétences disponibles au sein de l'équipe mais également en collaborant avec d'autres équipes de l'Institut d'Alembert dans le cadre de projets collaboratifs. Le financement de ces projets en interne semble d'ailleurs être une excellente initiative permettant d'augmenter la synergie entre les différentes composantes de l'IFR. Ainsi, on notera particulièrement les interactions importantes avec le laboratoire SATIE en ce qui concerne les activités composants électro-optiques ou sur fibre. Ce rapprochement semble en effet indispensable afin de ne pas isoler cette thématique au sein du LPQM. Plus généralement, un grand nombre de collaborations nationales, européennes et internationales ont été mises en œuvre.

Concernant les projets liés à cette équipe de recherche, ils sont particulièrement pertinents. Cependant, la limitation induite par la qualité des matériaux électro-optiques laisse penser que le développement de cet axe ne pourra se faire qu'en bénéficiant de couches fonctionnelles de meilleure qualité. Ainsi, l'orientation amorcée dans le domaine des capteurs (microcavité laser, dispositifs d'optique guidée...) sera certainement amenée à se poursuivre de manière plus soutenue.

Notons que les chercheurs impliqués dans ces études d'excellence mènent également de front des activités d'enseignement importantes même dans le cas des membres non enseignants chercheurs.

### **Matériaux et nanostructures pour la photonique**

Les thèmes développés jusqu'à présent se décomposent en deux domaines assez distincts, (i) l'ingénierie moléculaire pour la photonique d'une part, et (ii) les propriétés optiques de nanostructures hybrides, d'autre part.

Cette équipe, constituée de 3 permanents sur l'exercice 2005-2008, est amenée à se recentrer sur les "Structures Hybrides et Nanotubes", laissant l'ingénierie des polymères à l'équipe "Composants, Technologies et Matériaux pour la Photonique". C'est d'ailleurs, dans le projet d'évolution du laboratoire le changement le plus notable.

Tout comme l'équipe "Composants", l'activité du 1<sup>er</sup> domaine porte sur la mise au point de matériaux destinés à former des dispositifs notamment dédiés aux télécommunications à très haut débit. C'est d'ailleurs ce type de défi que devait relever le LPQM lorsqu'il a été créé comme unité mixte avec France Télécom en 1998. Une bonne part de l'activité, très pluridisciplinaire, est menée en collaboration avec des équipes renommées nationales (Rennes, Montpellier, Lyon, etc.) et internationales (en premier lieu le Technion Institute d'Haifa, mais aussi, le Trinity College, et plus généralement au sein du NOE "PHOREMOST").



Les trois volets, "mise en œuvre (voire synthèse)", "caractérisation" et "modélisation" sont couverts. Une grande part des efforts portent sur l'utilisation de polymères.

L'un des défis est de valider la durabilité (stabilité) des dispositifs, sachant que d'un point de vue théorique, la modélisation des changements structuraux des molécules mis en jeu (par exemple sous sollicitation électrique) est indispensable si on veut comprendre les effets optiques non linéaires.

L'activité du 2<sup>e</sup> domaine (Propriétés optiques des nanostructures hybrides) porte essentiellement sur deux types de systèmes : d'une part la nanostructuration de molécules de pérovskites au sein de matériaux multicouches, de manière à former des cavités résonnantes (à haut coefficient de qualité) et d'autre part, l'utilisation de nanotubes de carbone dopés par des molécules organiques (ici, de porphyrine). L'interaction entre ces molécules et les nanotubes reste à élucider, un certain nombre d'observation de la luminescence des nanotubes indiquant par exemple un effet de leur chiralité. Les travaux en cours sont très prometteurs. L'évolution vers l'étude de matériaux nanostructurés va de soi, compte tenu des effets recherchés (microcavités, facteurs de qualité élevés, etc.).

Tous les indicateurs indiquent que l'équipe dans sa constitution actuelle est bien reconnue, ce qui se mesure à son implication dans des programmes nationaux et internationaux, aux nombres de conférences invitées, etc. De manière générale la production scientifique est d'un excellent niveau, la stratégie à plus long terme très claire.

#### **Equipe Nanophotonique Non Linéaire et Biophotonique**

L'équipe Nanophotonique Non Linéaire et Biophotonique est actuellement constituée de deux membres permanents (dont le directeur de l'Institut d'Alembert à 50% de son activité de recherche), ainsi que de cinq non permanents.

Les objectifs de l'équipe concernent la mise au point de nouvelles techniques de microscopie non linéaire et leurs applications en physique, chimie et biologie. De nombreux résultats ont été obtenus dans les domaines suivants : l'étude structurale de micro- et nano-structures organiques, hybrides et inorganiques par microscopie confocale non linéaire polarisée ; la mise en place de la méthode d'imagerie non linéaire défocalisée pour la détermination de l'orientation tridimensionnelle de nano-objets ; la manipulation optique de nano-billes fluorescentes individuelles fonctionnalisées par le DR1 photo-isomérisable ; l'inscription et la caractérisation de réseaux photo-inscrits dans des films non linéaires auto-organisés ; l'imagerie non linéaire de structures cellulaires ; la microscopie électro-optique et son application à l'imagerie de membranes. La production scientifique de cette équipe est excellente, avec une dizaine d'articles publiés dans les meilleures revues du domaine, et de nombreuses conférences internationales. Les résultats obtenus en microscopie non linéaire polarisée font indéniablement partie des travaux pionniers qui ont permis une avancée significative de l'optique non linéaire dans le domaine de la nano-physique. D'autre part, les méthodes expérimentales développées ont déjà trouvé des applications en biologie pour l'étude de l'organisation de l'ADN liée aux mécanismes de développement du virus du SIDA. Le caractère transdisciplinaire de cette équipe est remarquable, avec des interactions au quotidien entre les trois autres composantes de l'Institut d'Alembert: LBPA (UMR 8532) pour la biologie, PPSM (UMR8531) pour la chimie et SATIE (UMR 8029) pour la micro-fluidique. Les collaborations sont également très fortes avec l'Institut Fresnel. Le partenariat est tout aussi pertinent à l'échelle internationale, avec en particulier la création du laboratoire européen associé « NaBi » CNRS-Institut Weizmann. Le niveau scientifique des nombreux doctorants et post-doctorants est excellent. Les membre permanents de l'équipe s'impliquent également très fortement dans la formation à l'ENS Cachan, en particulier dans le cadre du Master Européen Erasmus Mundus Monabiphot.

Le projet 2009-2013 proposé par l'équipe s'inscrit dans la continuité du précédent exercice et s'articule autour de deux thèmes résolument aux frontières de la biologie et de la physico-chimie : imagerie et caractérisation non linéaire ; manipulation et création de nano-objets et de nano-structures. Il va s'agir pour l'équipe de développer et d'appliquer les méthodes et techniques préalablement mises au point, ce qui constitue l'étape logique de la dynamique créée. Il faut souligner le caractère particulièrement innovant du projet sur l'imagerie électro-optique de cellules vivantes, ce qui constitue une certaine prise de risque. Il serait souhaitable que l'équipe puisse recruter très prochainement un jeune chercheur pour pouvoir mener à bien son projet.





Les points forts de l'équipe Nanophotonique Non Linéaire et Biophotonique sont : l'excellence de ses résultats ; son positionnement aux frontières de la physique avec la biologie et la chimie ; son rôle structurant au niveau local et international.

### Nanophotonique quantique

L'équipe « nanophotonique quantique » est constituée autour de 3 membres permanents. Sur la période 2005-2008 elle est renforcée par 4 Post doctorants et par 5 doctorants dont deux ont soutenu leur thèse.

Les recherches de l'équipe, bien qu'apparaissant très diversifiées, sont de fait organisées de manière cohérente sur les applications fondamentales, en régime quantique, des propriétés des centres colorés (magnétiques) inclus dans des structures diamant. Ces centres colorés constituent des sources de photons uniques photostables utilisées pour la cryptographie quantique, la résonance de spin électronique unique et son application à la nano-magnétométrie, et aussi le marquage des organites en biologie par photoluminescence. Un autre thème développé à la marge concerne les études sur l'exaltation de la photostabilité des molécules organiques et l'étude de la structure cristalline de nano-cristaux inorganiques par signal de seconde harmonique. L'activité de l'équipe est largement ouverte sur l'international : collaboration avec la Chine et l'Union Européenne. Elle est aussi très fortement impliquée dans la vie de l'établissement.

Parmi les résultats marquants on distinguera d'une part, l'obtention d'une source stable de photons uniques dont les qualités ont permis de reproduire avec des photons des expériences de choix différencié à la Wheeler et des tests de complémentarité de Bohr. D'autre part la détection optique de la résonance de spin attaché à un centre coloré unique a permis d'en déterminer l'orientation spatiale en présence d'un champ magnétique extérieur. Enfin il a été démontré que les nano-diamants pouvaient s'internaliser dans les cellules et donner une réponse par photoluminescence. Tous les aspects de cette recherche de qualité ont été ou sont soutenus par des contrats : Européens, ANR PNANO, C'Nano, RTRA « Triangle de la Physique », ACI nanosciences. Ils ont donné lieu à 24 publications dans des actes à comité de lecture, à de nombreuses conférences invitées et 4 prix scientifiques ont récompensé les jeunes chercheurs de cette équipe.

Les perspectives s'inscrivent de manière harmonieuse et crédible dans l'approfondissement de l'acquis vers des applications fondamentales : cryptographie quantique en espace libre, générateur aléatoire quantique, réalisation d'un nano-magnétomètre, imagerie super-résolue d'un nano-diamant en milieu biologique, étude du couplage entre un nano-diamant et une biomolécule.

Les points forts de l'équipe sont la maîtrise des propriétés des diamants à centres colorés, et l'exploitation de leur propriétés dans un cadre de physique quantique ce qui donne une forte cohérence à la diversité des applications qui en résultent.

Les recommandations sont de maintenir et de soutenir ce cap fructueux où les applications sont au plus près des concepts fondamentaux.

Le nouveau découpage des équipes est convaincant. La crainte qu'on peut avoir est liée à l'évolution du contexte (proximité de très gros centres). L'Institut d'Alembert devrait contribuer à "protéger" le LPQM, au moins à court terme.

## 5 • Analyse de la vie de l'unité

Malgré la relative diversité de thèmes en présence, ce laboratoire se caractérise par une bonne unité, grâce notamment à l'action de la directrice. Il est totalement impliqué dans l'Institut d'Alembert, ce qui favorise le développement d'interactions fortes avec les autres laboratoires du site de l'ENS Cachan.

Le projet Campus Ile de France Sud interroge à juste titre la direction du laboratoire et celle de l'ENS Cachan sur le positionnement de l'unité face à des restructurations fortes annoncées dans leur secteur thématique

Le laboratoire souhaite une implication plus forte du CNRS (un seul recrutement de chercheur en 10 ans). Le besoin d'un technicien ou ingénieur en électronique est ressenti comme prioritaire. Le recrutement d'un technicien en mécanique est une autre urgence.



Le problème spécifique de l'accès aux moyens bibliographiques est signalé.

## 6 • Conclusions

### – Points forts :

La principale qualité du LPQM réside dans sa capacité à maintenir une recherche scientifique de très haut niveau international et un programme de recherches extrêmement riche dans son domaine. Il a été capable d'attirer, ces dernières années, un grand nombre de chercheurs de niveau exceptionnel dont certains ont pu intégrer le laboratoire et qui continuent à soutenir l'activité scientifique et la vitalité du laboratoire. Le comité d'évaluation a été particulièrement impressionné par le travail d'encadrement et de prise en charge des doctorants dans les différents groupes et la présence d'un ensemble de jeunes chercheurs très international qui semblent apprécier les excellentes conditions de travail qu'ils rencontrent dans le laboratoire.

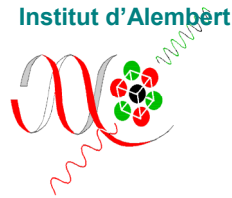
### – Points à améliorer :

Une attention particulière doit être portée dans le futur proche pour que les sujets de recherche proposés par le LPQM restent adaptés avec les moyens dont dispose le laboratoire, afin de maintenir la très grande qualité de la recherche et de bénéficier des synergies entre les différents domaines de recherche. Ceci est particulièrement important au regard des développements qui se profilent dans des domaines similaires de la région parisienne, ce qui peut fournir d'excellentes complémentarités pour le LPQM, mais constitue en même temps une forme de compétition.

### – Recommandations :

Un programme de recherche bien défini, augmentant la synergie entre les différents groupes du LPQM et un bon positionnement à l'intérieur de l'aire de recherche constituée par la région parisienne sont les clefs du succès du laboratoire.

Note de l'unité	Qualité scientifique et production	Rayonnement et attractivité, intégration dans l'environnement	Stratégie, gouvernance et vie du laboratoire	Appréciation du projet
A+	A+	A+	A+	A



## Laboratoire de Photonique Quantique et Moléculaire (UMR CNRS 8537)

Isabelle LEDOUX-RAK, Directrice, Professeur au département de Physique

Tél. : 33 (0)1 47 40 55 60 – Fax : 33 (0)1 47 40 55 67

e-mail : [ledoux@lpqm.ens-cachan.fr](mailto:ledoux@lpqm.ens-cachan.fr)

<http://www.lpqm.ens-cachan.fr>

Cachan, le jeudi 11 juin 2009

### Objet : observations générales sur le pré-rapport AERES de l'UMR 8537 - LPQM

La direction et le personnel du LPQM ont apprécié le contenu très positif de l'évaluation de leur Unité par l'AERES, suite à la visite du comité d'experts le 10 février 2009. Pour le Laboratoire, les points les plus importants relevés par le comité sont les suivants :

#### Section 4. : Analyse équipe par équipe et par projet

- L'orientation de l'équipe « Composants et technologies pour la photonique » vers la mise au point de capteurs constitue une orientation stratégique pour l'Unité, appuyée par l'obtention de plusieurs contrats et la présentation de projets aux différents appels d'offre nationaux et régionaux dans le domaine et cohérente avec la stratégie d'interface de l'Institut d'Alembert
- Les effectifs de l'équipe « nanophotonique non linéaire et biophotonique » ne dépassent pas de fait 1,5 enseignants-chercheurs. Cette équipe est à renforcer en priorité, comme souligné par le Comité.
- Il convient de relativiser les inquiétudes exprimées par le Comité concernant la « proximité de très gros centres ». L'Unité entretient avec ces grandes entités des collaborations suivies et fructueuses ; elle ne ressent pas cette proximité en termes de compétition scientifique, mais en termes d'une complémentarité qui pour le moment se montre féconde.
- Le LPQM est très fortement impliqué dans l'Institut d'Alembert, au travers de toutes ses équipes, non seulement par la « protection » que peut offrir l'insertion dans une entité de plus grande envergure et à forte visibilité, mais aussi et surtout par l'environnement pluridisciplinaire offert par cet Institut et les interactions très fortes établies par l'Unité avec les autres Laboratoires concernés.

#### Section 5. Analyse de la vie de l'Unité

Le Laboratoire approuve pleinement les remarques du Comité concernant

- La nécessité d'une implication forte du CNRS concernant le recrutement de chercheurs, qui doit bénéficier à moyen terme à toutes les équipes de l'Unité.
- On ne saurait trop insister sur les besoins criants du Laboratoire en termes d'accès à la bibliographie scientifique dans son domaine propre. Ces besoins ne peuvent être couverts financièrement par l'Unité compte tenu du coût élevé des abonnements institutionnels.

#### Section 6 : Conclusions

- En ce qui concerne l'importance, soulignée par le Comité, d'une adaptation des ambitions du laboratoire aux moyens disponibles, il convient de souligner que cette articulation relève d'un équilibre dynamique évitant à la fois la fuite en avant et l'auto-limitation. En d'autres termes, il nous semble que ce sont les ambitions des équipes qui conduisent à accroître la demande du Laboratoire en moyens matériels et humains, tout en s'adaptant à la réalité des moyens réellement obtenus et au contexte scientifique national et international.